

DIALOG(R)File 347:JAPIO

(c) 2007 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

05645964      \*\*Image available\*\*

SURFACE LIGHT EMITTING TYPE SEMICONDUCTOR LASER

PUB. NO.:        09-260764    [JP 9260764    A]

PUBLISHED:      October 03, 1997 (19971003)

INVENTOR(s):    YAMAMOTO EIJI

                 KOMAZAKI IWAO

APPLICANT(s):   OLYMPUS OPTICAL CO LTD [000037] (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

APPL. NO.:       08-061507    [JP 9661507]

FILED:           March 18, 1996 (19960318)

INTL CLASS:      [6] H01S-003/18

JAPIO CLASS:    42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)

JAPIO KEYWORD:R002 (LASERS); R009 (HOLOGRAPHY)

#### ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to continuously vary the radiating angle and shape of a laser beam, by providing means for applying a voltage to an embedded layer and a column.

SOLUTION: Voltage applying means 14 for applying voltage is provided between an embedded layer 7 and a column 6. Since the layer 7 and the column 6 have different conductivity types, they form a P-N junction, and a depletion layer 17 is formed at both sides of the boundary between the layer 7 and the column 6. The thickness of the layer 17 is controlled by the voltage applied to the junction, and the larger the amplitude of the reverse bias to the junction is, the larger the thickness increases. Since the layer 17 has a function of blocking the carriers of electron or hole, it limits the route of the current to be implanted to an active layer 4. As a result, the region of the layer 4 for generating an optical gain is limited. Thus, the radiating angle of the radiating beam can be continuously varied or controlled, at the controllability of the oscillation lateral mode.

?

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-260764

(43)公開日 平成9年(1997)10月3日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H01S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H01S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 O L (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平8-61507

(22)出願日 平成8年(1996)3月18日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 山本 英二

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 駒崎 岩男

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

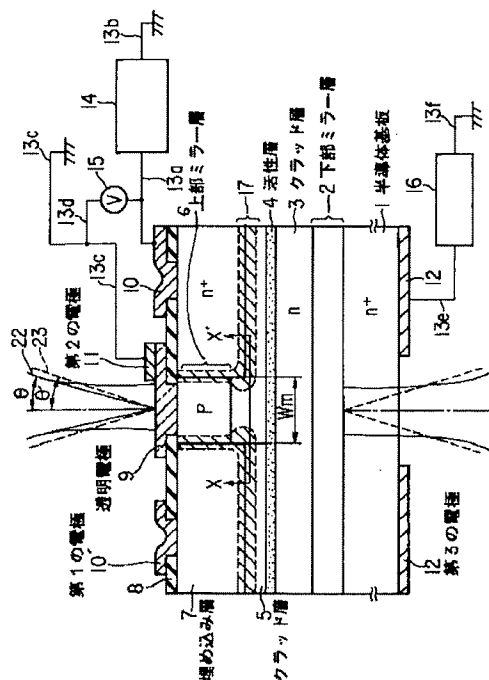
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 面発光型半導体レーザ光源

(57)【要約】

【課題】レーザビームの放射角を連続的に可変できない。

【解決手段】半導体基板(1)上に、少なくとも、下部ミラー層(2)、下部半導体クラッド層(3)、化合物半導体よりなる活性層(4)、上部半導体クラッド層(5)、上部ミラー層(6)を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層(2)または前記下部半導体クラッド層(3)、前記活性層(4)、前記上部半導体クラッド層(5)、前記上部ミラー層(6)の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した第1導電型の柱状部と、この柱状部を取り巻くように形成された第2導電型の埋め込み層(7)と、この埋め込み層(7)と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加装置(14)とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した第1導電型の柱状部と、この柱状部を取り巻くように形成された第2導電型の埋め込み層と、この埋め込み層と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【請求項2】 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した柱状部と、この柱状部の側面に設けられ、前記柱状部とショットキー接合を形成する金属膜と、この金属膜と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【請求項3】 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積したことを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、面発光型半導体レーザ光源に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、半導体レーザに、レーザビームの放射パターンを可変にする機能をモノリシックに集積する試みは非常に少ない。従来技術の代表的な例は、L. Fanらによる文献(L. Fan, M. C. Wu, H. C. Lee, and P. Grodzinski, IEEE, Proceedings of International Electron Device Meeting (IEDM94), pp. 765-768)に記載されている。これを、図9、10を参照して説明する。

【0003】この半導体レーザは、図9のような面発光型半導体レーザであり、GaAs半導体基板91上に、下部ミラー層92、下部クラッド層93、活性層94、上部クラッド層95、上部ミラー層96が順に積層され、前記上部ミラー層96の一部がメサ状に形成されている。この構成の

特徴的な点は、上部ミラー層96の一部に位相シフト領域97が形成され、また、上部電極98、99が図9に示す如く左右に分離された構造を有していることである。

【0004】レーザ光の遠視野における強度パターン（これを遠視野像と言う）は、レーザの出射端面で位相シフト領域が形成されていることを反映して、図10に示すような放射角度に対してふた山の回折像となる。この図における左右の山の相対的な高さの比は、前述の2分割された上部電極98、99から活性層94に向けて注入する電流の大小関係により決まる。従って、前記の上部電極98、99から注入する電流の割合を適切に選ぶことにより、面発光レーザから射出するレーザビームのメインビークの放射方向を僅か数deg.ではあるが切り換えることができる」と報告されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の半導体レーザの技術では、レーザビームの放射方向を2値的に切り換える機能を集積した素子は提案されているが、レーザビームの放射角を可変にすることはできなかった。レーザビームの放射角を可変にすることが可能になれば、例えば、レンズと組み合わせることにより、レーザビームのスポットサイズや焦点深度を可変にする事が可能となる。さらに、これにより、光センシング、とりわけ、光ピックアップ等の応用においては、多様なセンシング対象や光学式読み取り媒体に適用可能な高機能なセンシングシステムを実現できる。

【0006】本発明はこうした事情を考慮してなされたもので、レーザビームの放射角や放射形状を連続的に可変しうる面発光型半導体レーザ光源を提供することを目的とする。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

請求項1：半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した第1導電型の柱状部と、この柱状部を取り巻くように形成された第2導電型の埋め込み層と、この埋め込み層と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0008】（対応する発明の実施の形態）請求項1は実施の形態1～3に対応する。前記電圧印加手段は、例えば図1を参照すると、電圧印加装置14が配線13aを通して第1の電極10または電極10'に接続されるとともに、面発光型半導体レーザ本体を介して、（実施の形態1、2の一部は、透明電極）を含み）第2の電極11から

配線13cより接地電位に接続された系を含むものである。なお、上記の形態は同様な機能を実現する各種の変形を含むものである。例えば、接地電位は、基板裏面側の第3の電極12にとることも可能であり、この場合は、第2の電極11に配線13cを介して電流源16が接続される。

【0009】また、電圧印加手段14は、必ずしも電極10又は10'に接続される場合に限定されるものではない。例えば、電極11に接続される場合や、電極12に接続される場合も前記柱状部と前記埋め込み層に電圧を印加する同様な機能が実現できる。さらに、面発光型半導体レーザは必ずしも電氣的に駆動する方式に限定されず、例えば、面発光型半導体レーザの共振器に入射するポンプ光により駆動される場合も含む。また、前記埋め込み層とは、実施の形態3(図5)に示す如く、柱状部が必ずしも単一の導電型で形成されていない場合には、これと前記埋め込み層の各々の境界面を挟んで、互いに接する半導体層が異なる導電型である場合も含む。さらに、上記の「柱状」という表現は必ずしも円柱や角柱だけに限定されず、不定形であってもよいし、また、円柱の軸上で断面形状や断面積が変化するものも含む。

【0010】(作用)埋め込み層と前記柱状部は互いに異なる導電型であるから、これらは互いにp n接合を構成し、埋め込み層と前記柱状部の境界の両側に空乏層(depletion layer)が形成される。この空乏層の厚さはp n接合に印加する電圧で制御され、p n接合に対する逆バイアス(または逆方向電圧という)の大きさが大きいほど厚くなる。この空乏層は、電子やホールよりなるキャリアをブロックする機能をもつので、活性層に注入される電流の経路を制限し、結果として、光利得を発生する活性層の領域(基板に対して水平方向の面積)を制限する。

【0011】(効果)半導体レーザの出射面上での光強度分布(即ち、近視野像: near field pattern)は、光利得を発生する活性層の領域が広いほど広く、狭いほど狭くなる。一方、半導体レーザの遠視野像(far field pattern)は近視野像が狭いほど回折現象のため広くなる。従って、前記p n接合に印加する逆バイアスを大きくすれば、遠視野像を広く、即ち放射角を大きくできる。また、柱状部が含まれる共振器内部の光軸に垂直な方向の光強度分布の広がり小さいほど半導体レーザの発振横モードは低次モードが安定になるから、光利得を発生する活性層の領域を前記逆バイアスにより狭くするほど半導体レーザの発振低次横モードが安定になり、広くなるほど高次の横モードが発生しやすくなる。以上のように、請求項1の構成により、放射ビームの放射角を連続的に可変したり、発振横モードの制御性を制御することが可能となる。

【0012】なお、上記の作用、効果の項ではp n接合に印加する電圧が逆バイアスの場合を説明したが、順バ

イアスの場合にも空乏層の厚さ制御範囲は小さいが、順バイアスが大きいほど空乏層は薄くなり、同様な効果が得られる。また、前記ビームの放射形状は、光軸を中心とする円形になるとは限らず、共振器の断面形状や共振器内部の不純物分布等により、短軸と長軸を有する場合や、不定形となる場合も含む。

【0013】請求項2:半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した柱状部と、この柱状部の側面に設けられ、前記柱状部とショットキー接合を形成する金属膜と、この金属膜と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0014】(対応する発明の実施の形態)請求項2は実施の形態6に対応する。

(作用)前記金属膜と前記柱状部はショットキー接合を構成し、前記金属膜と前記柱状部の接合の境界の両側に空乏層が形成される。この空乏層の厚さはショットキー接合に印加する電圧で制御され、ショットキー接合に対する逆バイアス(または逆方向電圧という)の大きさが大きいほど厚くなる。この空乏層は、キャリアをブロックする機能をもつので、活性層に注入される電流の経路を制限し、結果として、光利得を発生する活性層の領域(基板に対して水平方向の面積)を制限する。

【0015】(効果)上記の柱状部以外の部分を半導体で選択的に埋め込む必要がないので素子の製造が容易になる。また、請求項1がp n接合で空乏層を形成するのに対して、本構成はショットキー接合で空乏層を形成するので、空乏層幅の変調にもとづくレーザビーム形状の制御がより高速になる。これは、ショットキー接合では空乏層の形成メカニズムが、より高速な多数キャリアのみを利用するためである。

【0016】請求項3:半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積したことを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0017】(対応する発明の実施の形態)請求項3は実施の形態1~6に対応する。請求項3中、「放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積した」とは、前記制御手段の全てを面発光型半導体レーザの半導体基板上に形成する場合に限定されない。例えば、実施の形態1~6に対応する図に示すように、制御

手段の電子回路や配線などは、必ずしも半導体基板上に一体化されない場合も含む。

【0018】(作用・効果)前記放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積することにより、非常にコンパクトな構成で、かつ、低価格な放射角可変のレーザ光源を提供できる。また、これにより、光センシング、とりわけ、光ピックアップ等の応用においては、多様なセンシング対象や光学式読み取り媒体に適用可能な高機能なセンシングシステムを実現できる。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

(実施の形態1)図1を参照する。図中の符番1はn型半導体基板である。この基板1上には、n型半導体多層膜よりなる下部ミラー層2、n型下部半導体クラッド層3、化合物半導体よりなる活性層4、p型上部半導体クラッド層5、p型半導体多層膜よりなる上部ミラー層6が順に積層され、これらが表面(基板と反対側の面)から前記上部半導体クラッド層5の中間まで円柱状またはメサ状にエッチング除去されている。そして、この除去された部分にn型の半導体埋め込み層7が埋め込まれている。

【0020】前記上部ミラー層6及び半導体埋め込み層7上には、絶縁膜8が形成されている。前記上部ミラー層6の一部、前記半導体埋め込み層7の一部に対応する前記絶縁膜8には、各々コンタクト窓が形成されている。上部ミラー層6に対応するコンタクト窓には透明な材料からなる透明電極9がその一部が絶縁膜8上に延出して形成され、半導体埋め込み層7に対応するコンタクト窓には第1の電極10、10'がその一部が絶縁膜8上に延出して形成されている。前記透明電極9上には、表面から出射するレーザビームを遮蔽しないように第2の電極11が形成されている。また、基板1の裏面にはレーザビームを遮蔽しないような形状で第3の電極12が形成されている。

【0021】前記第1の電極10には、配線13aを介して電圧印加装置14が接続されている。この電圧印加装置14は、配線13bを介して接地されている。前記第2の電極11は配線13cを介して接地されている。前記第1の電極10と電圧印加装置14を接続する配線13aと配線13b間には、電圧計15を介装した配線13dにより前記第2の電極11を接地する配線13cと接続されている。前記第3の電

極12には配線13eを介して電流源16が接続され、この電流源16は配線13fを介して接地されている。

【0022】なお、図1において、 $\theta$ は電圧印加装置14による逆バイアスを大きくした時のレーザビームの放射角の半値幅を示し、 $\theta'$ は電圧印加装置14による逆バイアスが相対的に小さい時のレーザビームの放射角の半値幅を示す。また、符番22、23は、上記 $\theta$ 、 $\theta'$ に対応したレーザビームの遠視野における広がり領域の境界線を各々面発光レーザの出射面に外挿した直線を示す。

【0023】こうした構成の面発光型半導体レーザの作用は次の通りである。接地電位から第2の電極11、透明電極9、上部ミラー層6、p型上部半導体クラッド層5、活性層4、n型下部半導体クラッド層3、下部ミラー層2、n型半導体基板1、第3の電極12、電流源16の経路によって、活性層に注入される電流によりレーザ発振する。更に、電圧印加装置14により配線13a、第1の電極10を介して、埋め込み層7と前記柱状部を経て、透明電極9、第2の電極11の経路で埋め込み層7と前記柱状部のpn接合に電圧が印加され、空乏層17の厚さが制御される。印加する電圧は電圧計15により読みとることができる。

【0024】図2(A)は埋め込み層7と前記柱状部のpn接合に印加される逆バイアス電圧が大きな時と小さな時に対して、各々、活性層内部のキャリア分布を示す模式図である。図2(B)は、同様に、逆バイアスが大きな時と小さな時に対する、各々、近視野像の光強度分布を示す模式図である。これにより、逆バイアスが大きな時にキャリア密度の存在領域は狭くなり、レーザビームの直径が小さくなることがわかる。

【0025】以下、具体的な構成例によるレーザビームの放射形状の制御性に関する試算例を示す。半導体の空乏層17の厚さが最大となる部分の厚さ $W_d$ は、印加電圧と、柱状部の最も不純物濃度が低い領域と埋め込み層7との間にできる空乏層とで決まり、以下の式(1)で表すことができる。なお、以下は、柱状部の最も低不純物濃度領域(この部分の不純物濃度をPとする)と埋め込み層(この部分の不純物濃度をNとする)が共にGaAsにより構成され、また、 $P \ll N$ として、pn接合の柱状部側に形成される空乏層が埋め込み層の側に形成される空乏層より十分厚い場合を考える。

【0026】

$$W_d = \{ 2 \epsilon_r \cdot \epsilon_0 (V_b + V_{bias}) / (qP) \}^{1/2} \quad (1)$$

$$\text{但し、} V_b = (k_b T/q) \cdot \ln(N \cdot P/n_i^2) \quad (2)$$

上記式(1)、(2)中、 $\epsilon_r$ はGaAsの比誘電率、 $\epsilon_0$ は真空中の誘電率、 $V_b$ はpn接合の拡散電位、 $V_{bias}$ はpn接合に印加する電圧、 $q$ は素電荷、 $k_b$ はボルツマン定数、 $T$ は素子の絶対温度、 $n_i$ はGaAsの真性キャリア密度である。

【0027】この構成例ではレーザ駆動電流経路上の抵

抗を低減するため上部ミラー層6のp型不純物の濃度は高く(典型的には $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 程度)、また埋め込み層7のn型不純物濃度もこれと同じにし、p型上部クラッド層5はこれより一桁程度低い不純物濃度(典型的には $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 程度)にすると、この上部クラッド層5と埋め込み層7の境界近傍で、しかも、上部半導体ク

ラッド層5のある側に最も空乏層が広がる。今、柱状部が円柱であると仮定し、円柱の直径を $W_m$ とすれば、活性層に注入される電流パスの幅 $W_{eff}$ は、 $(W_m - 2W_d)$ に略等しいと考えられる。

【0028】今、近似的に垂直共振器型面発光レーザの出射面における光強度分布がガウス関数で表され、この強度がピークに対して $1/e^2$ になる幅を $W_0$ と仮定

$$\omega = 2 [W_0 \cdot \{1 + (\lambda z / \pi W_0^2)^2\}]^{1/2} \quad (3)$$

$$\theta = (180/\pi) \cdot \text{ArcTan}(\omega/2z), \quad z \rightarrow \infty \quad (4)$$

ここで、 $\omega$ は距離 $z$ におけるレーザビームの直径である。 $W_d$ とバイアス $V_{bias}$  ( $= [(\phi_a - \phi_b)]$ の絶対値)の関係の試算値を図3(B)に、 $W_0$ と $\theta$ の関係の試算値を図3(A)に示す。また、近似的に、 $W_0 = W_{eff}$ と考えると、ビーム放射角 $\theta$ と $V_{bias}$ の関係を円柱の幾何学的な直径 $W_m$ をパラメータとして試算した結果を図3(C)に示す。但し、図3(C)において、実線(イ)は $W_m = 1 \mu m$ 、実線(ロ)は $W_m = 2 \mu m$ 、実線(ハ)は $W_m = 3 \mu m$ の場合である。

【0030】これにより、上記のような条件の下に、たとえば、逆バイアス $V_{bias}$ が0から10Vまで可変されたとすると、 $W_m$ が $2 \mu m$ の場合は、レーザ光の放射角 $\theta$ はおおよそ20 degから29 degに、また、 $W_m$ が $1 \mu m$ の場合は、レーザ光の放射角 $\theta$ はおおよそ43 degから76 degに可変することができる。なお、クラッド層や活性層の不純物濃度をさらに小さくすれば、レーザ素子のレーザ駆動電流に対する抵抗は増大するが、ビームの放射角の可変効率は大きくなる。

【0031】なお、上記実施の形態1の形態の各構成は当然、各種の変形、変更が可能である。例えば、活性層への駆動電流の注入経路はp型上部ミラー層6を介さず、p型上部半導体クラッド層5に直接に電極を形成して注入することができる。半導体の導電性はp型とn型の領域を逆にしてもよい。透明電極9はレーザビームを大きく遮蔽しない配置であれば、通常のメタル電極としてもよい。また、ビームの出射窓は上方または下方のどちらか一方にしてもよい。

【0032】(実施の形態2)図4(A)、(B)を参照する。なお、図4(B)は図4(A)のX部を部分的に拡大した図である。但し、図1と同部材は同符号を用いて説明する。n型半導体基板1上には、下部ミラー層2、n型下部半導体クラッド層3の一部が順次積層されている。この積層体の、表面(基板と反対側の面)から下部ミラー層2の中間まで円柱状またはメサ状にエッチング除去され、この除去された部分にp型の半導体埋め込み層21a、n型の半導体埋め込み層21bがこの順で埋め込まれている。さらに、n型下部半導体クラッド層3の残りの部分上には、活性層4、p型上部半導体クラッド層5、上部ミラー層6が順に積層され、この積層体の表面からp型埋め込み層21aが露出するまで、前記の柱状部以外の所定の領域がエッチング除去されている。前

し、またレーザ光の波長を $\lambda$ とすれば、レーザビームの放射角 $\theta$ (出射面から $z$ の距離における遠視野において光強度がピークの $1/e^2$ になるビーム放射角度)は、ガウスビームの伝搬理論により、下記式(3)、(4)より求められる。

【0029】

記p型埋め込み層21aと前記上部ミラー層6との上面には、各々、第1の電極10、第2の電極11が形成されている。また、基板の裏面にはレーザビームを遮蔽しないような形状で第3の電極12が形成されている。

【0033】こうした構成の垂直共振器型面発光レーザにおいて、電流源16から第3の電極12、n型半導体基板1、下部ミラー層2、n型下部半導体クラッド層3、活性層4、p型上部半導体クラッド層5、上部ミラー層6、第2の電極11の経路によって活性層4に注入される電流によりレーザ発振する。さらに、電圧印加装置14により第1の電極10を介して前記p型埋め込み層21aと前記柱状部の間に電圧が印加され、空乏層17の厚さが制御される。印加する電圧は電圧計15により読みとることができる。この構成による作用は、空乏層17の広がる領域がn型下部半導体クラッド層3になることを除いて実施の形態1と同様である。n型下部半導体クラッド層3は、キャリア移動度の違いからp型半導体上部クラッド層5より低い不純物濃度でも同じ抵抗にすることができるので、前記印加バイアス $V_{bias}$ に対して空乏層が広がる割合をより大きくできる。

【0034】(実施の形態3)図5を参照する。但し、図1と同部材は同符号を用いて説明する。実施の形態3で実施の形態1と異なるところは、柱状部がレーザ素子上面からn型下部半導体クラッド層3の中間までエッチングされている点である。柱状部の活性層4より上側はp型領域であり、柱状部の活性層より下側はn型領域となっている。従って、埋め込み層31a、31bは、互いに接する柱状部の各層と異なる導電性にする必要があり、柱状部の活性層4より上側に接する埋め込み層31aにはn型不純物が、柱状部の活性層より下側に接する埋め込み層31bにはp型不純物がドーピングされている。従って、空乏層17は活性層4の上下両側に広がり、空乏層17によるより強力な電流経路の狭窄効果が得られる。

【0035】(実施の形態4)図6を参照する。但し、図1と同部材は同符号を用いて説明する。実施の形態4で実施の形態1と異なるところは、第2の電極11がレーザ光の出射窓の一部を遮蔽するように上部ミラー層6上に形成されている点である。これにより、前述の出射面上におけるビーム径 $W_0$ が小さくなる。従って、図3(A)における動作点が同図の上では左側に移動し、放射角 $\theta$ の変化率がビーム径 $W_0$ の変化に対して大きくな

るため、小さなバイアス電圧でより広範囲に放射角を可変できる。

【0036】(実施の形態5)図7を参照する。図中の符番41は垂直共振器型面発光レーザであり、請求項1〜3で提示したビーム放射角の可変な垂直共振器型面発光レーザである。前記面発光レーザ41の下方でレーザ光の光路上には、凹レンズ42が配置されている。図の下方に射出するビームは、前記凹レンズ42により放射角とその可変幅が拡大される。また、前記面発光レーザ41の上方でレーザ光の光路上には、凸レンズ43が配置されている。図の上方に射出するビームは凸レンズ43により放射角とその可変幅が縮小されるか、あるいは集光ビームが作られる。

【0037】前記凸レンズ43により集光される場合は、次のような特有の効果を有する。即ち、逆バイアス電圧を印加してビーム放射角を拡大すると、ビーム放射角を拡大していない場合に比べてビームの焦点深度が浅く、かつビームスポット径( $W_f$ )が小さくなる。従って、このような構成によりビームの焦点深度と焦点位置におけるビームスポット径を可変できるレーザ光源が提供できる。なお、この実施の形態5の各構成は、当然、各種の変形、変更が可能である。例えば、レンズは通常のレンズ以外にもフレネルレンズ、あるいは回折格子に置き換えることもできる。

【0038】(実施の形態6)図8を参照する。但し、図1と同部材は同符号を用いて説明する。n型半導体基板1上には、下部ミラー層2、n型下部半導体クラッド層3、活性層4、p型上部半導体クラッド層5、上部ミラー層6が順に積層されている。この積層体の表面(基板と反対側の面)から前記n型上部半導体クラッド層5の中間まで円柱状またはメサ状にエッチング除去されている。前記n型上部半導体クラッド層5上には、一部が前記円柱状の側壁に接触するショットキー電極51が形成される。このショットキー電極51が正常な整流動作をするためには、接触部分の半導体の不純物濃度を $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 程度以下に下げることが望ましい。さらに、前記上部ミラー層6にコンタクトする部分には第2の電極11が、基板1の裏面にはレーザビームを遮蔽しないような形状で第3の電極12が形成されている。

【0039】こうした構成の垂直共振器型面発光レーザにおいて、電流源16から第3の電極12、n型半導体基板1、下部ミラー層2、n型下部半導体クラッド層3、活性層4、p型上部半導体クラッド層5、上部ミラー層6、第2の電極11の経路によって活性層4に注入される電流によりレーザ発振する。さらに、電圧印加装置14によりショットキー電極51を介して空乏層17の厚さが制御される。印加する電圧は電圧計15により読みとることができる。

【0040】本実施の形態6は、実施の形態1と比べ、面発光型半導体レーザの柱状部以外の部分を半導体で選

択的に埋め込む必要がないので素子の製造が容易になる。また、実施の形態1などがpn接合で空乏層を形成するのに対して、本実施の形態6はショットキー接合で空乏層を形成するので、空乏層幅の変調にもとづくレーザビーム形状の制御がより高速になる。これは、ショットキー接合では、空乏層の形成メカニズムが、より高速な多数キャリアのみを利用するためである。これ以外の基本的な作用効果は実施の形態1と同様である。

【0041】以上、実施例に基づいて説明してきたが、本明細書は以下の発明を含む。

1. 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した第1導電型の柱状部と、この柱状部を取り巻くように形成された第2導電型の埋め込み層と、この埋め込み層と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0042】(対応する発明の実施の形態)

前記1. 記載の発明は実施の形態1〜3に対応する。前記電圧印加手段は、例えば図1を参照すると、電圧印加装置14が配線13aを通して第1の電極10または電極10'に接続されるとともに、面発光型半導体レーザ本体を介して、(実施の形態1, 2の一部は、透明電極9を含み、)第2の電極11から配線13cより接地電位に接続された系を含むものである。なお、上記の形態は同様な機能を実現する各種の変形を含むものである。例えば、接地電位は、基板裏面側の第3の電極12にとることも可能であり、この場合は、第3の電極に配線13eを介して電流源16が接続される。

【0043】また、電圧印加装置14は、必ずしも電極10又は10'に接続される場合に限定されるものではない。例えば、電極11に接続される場合や、電極12に接続される場合も前記柱状部と前記埋め込み層に電圧を印加する同様な機能を実現できる。さらに、面発光型半導体レーザは必ずしも電氣的に駆動する方式に限定されず、例えば、面発光型半導体レーザの共振器に入射するポンプ光により駆動される場合も含む。また、前記埋め込み層とは、実施の形態3(図5)に示す如く、柱状部が必ずしも単一の導電型で形成されていない場合には、これと前記埋め込み層の各々の境界面を挟んで、互いに接する半導体層が異なる導電型である場合も含む。さらに、上記の「柱状」という表現は必ずしも円柱や角柱だけに限定されず、不定形であってもよいし、また、円柱の軸上で断面形状や断面積が変化するものも含む。

【0044】(作用)埋め込み層と前記柱状部は互いに異なる導電型であるから、これらは互いにpn接合を構

成し、埋め込み層と前記柱状部の境界の両側に空乏層 (depletion layer) が形成される。この空乏層の厚さは p n 接合に印加する電圧で制御され、p n 接合に対する逆バイアス (または逆方向電圧という) の大きさが大きいほど厚くなる。この空乏層は、電子やホールよりなるキャリアをブロックする機能をもつので、活性層に注入される電流の経路を制限し、結果として、光利得を発生する活性層の領域 (基板に対して水平方向の面積) を制限する。

【0045】(効果) 半導体レーザの出射面上での光強度分布 (即ち、近視野像: near field pattern) は、光利得を発生する活性層の領域が広いほど広く、狭いほど狭くなる。一方、半導体レーザの遠視野像 (far field pattern) は近視野像が狭いほど回折現象のため広くなる。従って、前記 p n 接合に印加する逆バイアスを大きくすれば、遠視野像を広く、即ち放射角を大きくできる。また、柱状部が含まれる共振器内部の光軸に垂直な方向の光強度分布の広がり小さいほど半導体レーザの発振横モードは低次モードが安定になるから、光利得を発生する活性層の領域を前記逆バイアスにより狭くするほど半導体レーザの発振低次横モードが安定になり、広くなるほど高次の横モードが発生しやすくなる。以上のように、請求項1の構成により、放射ビームの放射角を連続的に可変したり、発振横モードの制御性を制御することが可能となる。

【0046】なお、上記の作用、効果の項では p n 接合に印加する電圧が逆バイアスの場合を説明したが、順バイアスの場合にも空乏層の厚さ制御範囲は小さいが、順バイアスが大きいほど空乏層は薄くなり、同様な効果が得られる。また、前記ビームの放射形状は、光軸を中心とする円形になるとは限らず、共振器の断面形状や共振器内部の不純物分布等により、短軸と長軸を有する場合や、不定形となる場合も含む。

【0047】2. 前記1. 記載の面発光型半導体レーザ光源において、出射ビームの一部を遮蔽するように配置された遮光手段を有することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0048】(対応する発明の実施の形態)

前記2. 記載の発明は実施の形態4に対応する。

(作用) 遮光手段は近視野における光強度分布を小さく制限する。

【0049】(効果) 近視野におけるビーム径  $W_0$  とビーム放射角  $\theta$  の関係を示す概算値を図3(A)に示す (但し、この図ではビーム形状はガウシアンであることを仮定している。ガウシアン以外の形状では僅かに異なる値となる。また、この図では、放射角  $\theta$  およびビーム径  $W_0$  は、各々、ビームの光強度がピークに対して  $1/2^{\circ}$  になる放射角度及びビーム直径を示す。)。この図より、近視野のビーム径が小さいほど放射角のビーム径に対する変化率が大きいことがわかる。従って、遮光手段

により近視野における光強度分布を小さく制限すれば、前記 p n 接合に印加するバイアスに対するビーム放射角の変化割合を大きくすることができる。

【0050】3. 前記1. の面発光型半導体レーザ光源において、出射ビームの光路上に光ビームの伝搬方向と角度の少なくとも一方を変換する光学素子を有する面発光型半導体レーザ光源。

【0051】(対応する発明の実施の形態)

前記3. 記載の発明は、実施の形態5に対応する。前記3. 記載中のビームの伝搬方向と角度の少なくとも一方を変換する光学素子とは、凹または凸レンズ作用を有する光学素子や回折格子、ホログラム等を含む。

【0052】(作用・効果) 前記光学素子が凹または凸レンズ作用を有する光学素子の場合、この光学素子は、レーザビームの広がり角を拡大・縮小する作用を有する。従って、前記光学素子が凸レンズ作用を有する場合は光源のビーム放射角が大きいほど、ビームが集光する位置における焦点深度が浅く、かつ、スポット径が小さくなる。すなわち、前記 p n 接合に印加するバイアスにより、レーザビームの広がり角が制御できるのみならず、レンズの作用によりビーム焦点深度やスポット径を可変できる。また、前記光学素子が凹レンズ作用を有する光学素子の場合、面発光型半導体レーザ単独によるビーム放射角の可変範囲を拡大できる。さらに、前記光学素子が回折格子やホログラムである場合は、回折格子やホログラムによる回折パターン空間的な広がり形状を可変することができる。

【0053】4. 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、前記下部ミラー層または前記下部半導体クラッド層、前記活性層、前記上部半導体クラッド層、前記上部ミラー層の一部または全部を基板面に垂直な軸を有する柱状に形成した柱状部と、この柱状部の側面に設けられ、前記柱状部とショットキー接合を形成する金属膜と、この金属膜と前記柱状部の間に電圧を印加する電圧印加手段とを具備することを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0054】(対応する発明の実施の形態) 前記4. 記載の発明は実施の形態6に対応する。

(作用) 前記金属膜と前記柱状部はショットキー接合を構成し、前記金属膜と前記柱状部の接合の境界の両側に空乏層が形成される。この空乏層の厚さはショットキー接合に印加する電圧で制御され、ショットキー接合に対する逆バイアス (または逆方向電圧という) の大きさが大きいほど厚くなる。この空乏層は、キャリアをブロックする機能をもつので、活性層に注入される電流の経路を制限し、結果として、光利得を発生する活性層の領域 (基板に対して水平方向の面積) を制限する。



【0055】(効果)上記の柱状部以外の部分を半導体で選択的に埋め込む必要がないので素子の製造が容易になる。また、請求項1がpn接合で空乏層を形成するのに対して、本構成はショットキー接合で空乏層を形成するので、空乏層幅の変調にもとづくレーザビーム形状の制御がより高速になる。これは、ショットキー接合では空乏層の形成メカニズムが、より高速な多数キャリアのみを利用するためである。

【0056】5. 半導体基板上に、少なくとも、下部ミラー層、下部半導体クラッド層、化合物半導体よりなる活性層、上部半導体クラッド層、上部ミラー層を順に積層した構造を有する面発光型半導体レーザ光源において、放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積したことを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0057】(対応する発明の実施の形態)

前記5. 記載の発明は、実施の形態1～6に対応する。前記5. 記載中「放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積した」とは、前記制御手段の全てを面発光型半導体レーザの半導体基板上に形成する場合に限定されない。例えば、実施の形態1～6に対応する図に示すように、制御手段の電子回路や配線などは、必ずしも半導体基板上に一体化されない場合も含む。

【0058】(作用・効果)前記放射ビームの放射角を制御できる制御手段をモノリシックに集積することにより、非常にコンパクトな構成で、かつ、低価格な放射角可変のレーザ光源を提供できる。また、これにより、光センシング、とりわけ、光ピックアップ等の応用においては、多様なセンシング対象や光学式読み取り媒体に適用可能な高機能なセンシングシステムを実現できる。

【0059】6. 前記5. 記載の面発光型半導体レーザ光源において、前記制御手段は、前記面発光型半導体レーザ光源の共振器の側周に生じる空乏層の厚さを制御する手段であることを特徴とする面発光型半導体レーザ光源。

【0060】(対応する発明の実施の形態)

前記6. 記載の発明は、実施の形態1～6に対応する。(作用)この空乏層は、キャリアをブロックする機能をもつので、活性層に注入される電流の経路を制限し、結果として、光利得を発生する活性層の領域(すなわち基板に対して水平方向の面積)を制限する。

【0061】(効果)前記空乏層により面発光型半導体レーザの近視野のビーム径が可変できるので、遠視野における面発光型半導体レーザのレーザビームの放射角を連続的に可変できる。

【0062】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、面発光型半導体レーザ光源のレーザビームの放射角や放射形状を連続的に可変できる。さらにまた、レンズと組み

合わせることでレーザビームのスポットサイズや焦点深度を可変したり、光センシング、とりわけ、光ピックアップ等の応用において多様なセンシング対象や光学式読み取り媒体に適用可能な高機能なセンシングシステムを実現できる面発光型半導体レーザ光源を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る面発光型半導体レーザ光源の断面図。

【図2】図2(A)は図1の半導体レーザ光源に係る埋め込み層と柱状部のpn接合に印加する逆バイアス電圧が大きな時と小さな時に対して、各々、活性層内部のキャリア分布を示す模式図、図2(B)は同様に逆バイアスが大きな時と小さな時に対する、各々、近視野像の光強度分布を示す模式図。

【図3】図3(A)は面発光型半導体レーザにおいて、光強度がピーク値に対して $1/e^2$ になる値( $W_0$ )とレーザビームの放射角( $\theta$ )の関係の試算値を示す特性図、図3(B)は半導体の空乏層の厚さが最大となる部分の厚さ( $W_d$ )とpn接合に印加する電圧( $V_{bias}$ )との関係を示す特性図、図3(C)は放射角 $\theta$ と $V_{bias}$ との関係を示す特性図。

【図4】本発明の実施の形態2に係る面発光型半導体レーザ光源の説明図で、図4(A)はレーザ光源全体を示す断面図、図4(B)は図4(A)のX部の拡大図。

【図5】本発明の実施の形態3に係る面発光型半導体レーザ光源の断面図。

【図6】本発明の実施の形態4に係る面発光型半導体レーザ光源の断面図。

【図7】図7(A)は本発明の実施の形態5に係る面発光型半導体レーザ光源の断面図で、図7(B)は図7(A)のX部の拡大図。

【図8】本発明の実施の形態6に係る面発光型半導体レーザ光源の断面図。

【図9】従来の面発光型半導体レーザの斜視図。

【図10】図9に示した半導体レーザのビーム強度と遠視野像との関係を示す特性図。

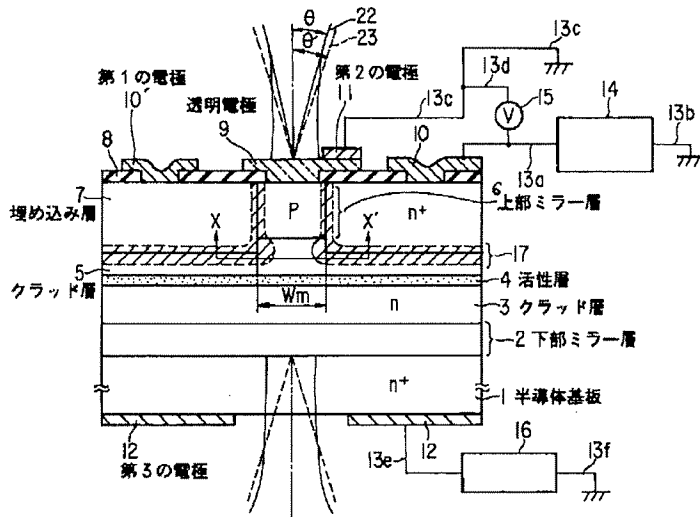
【符号の説明】

- 1…n型半導体基板、
- 2…下部ミラー層、
- 3…n型下部半導体クラッド層、
- 4…活性層、
- 5…p型上部半導体クラッド層、
- 6…上部ミラー層、
- 7、31a…n型の埋め込み層、
- 9…透明電極、
- 10…第1の電極、
- 11…第2の電極、
- 12…第3の電極、
- 14…電圧印加装置、
- 17…空乏層、

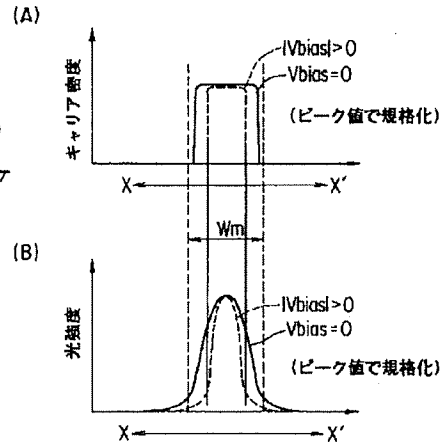
21a...p型の半導体埋め込み層、  
 21b...n型の半導体埋め込み層、  
 31b...p型埋め込み層、

41...面発光型半導体レーザ光源、  
 42...凹レンズ、  
 43...凸レンズ。

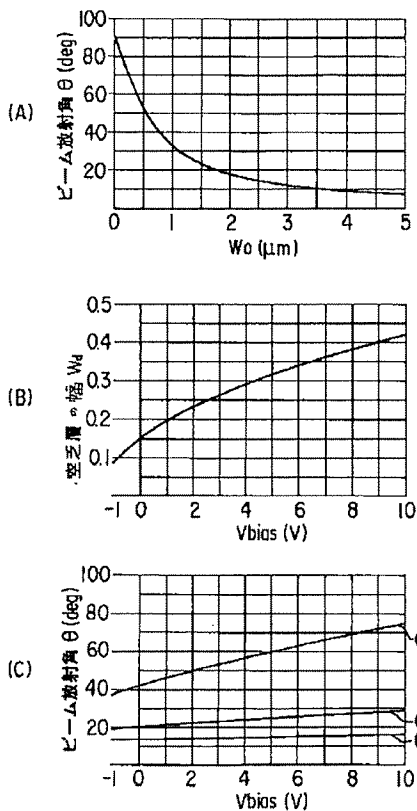
【図1】



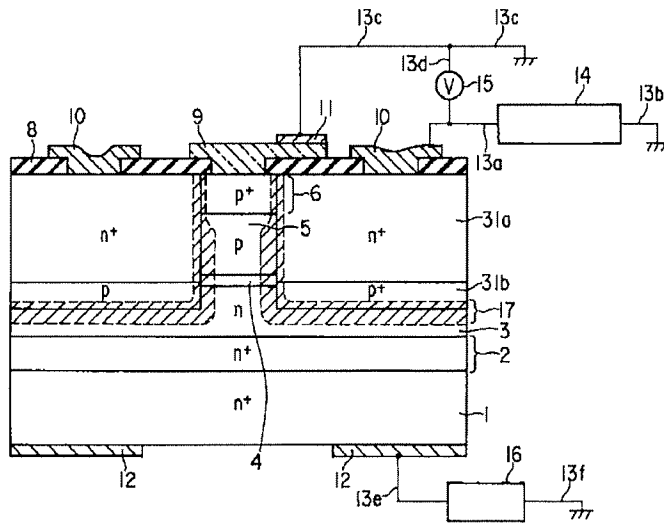
【図2】



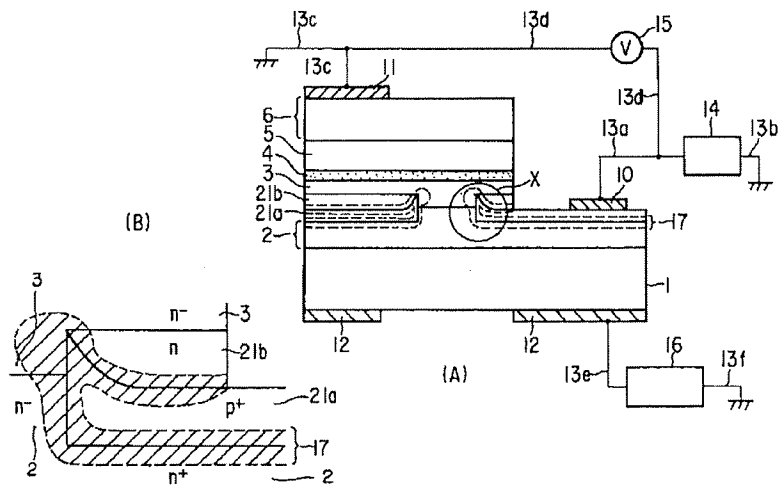
【図3】



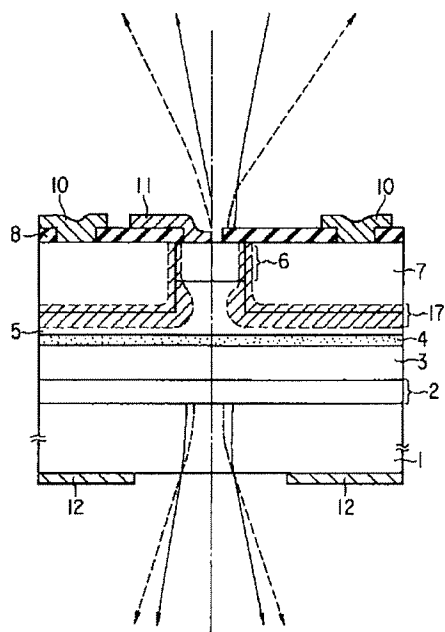
【図5】



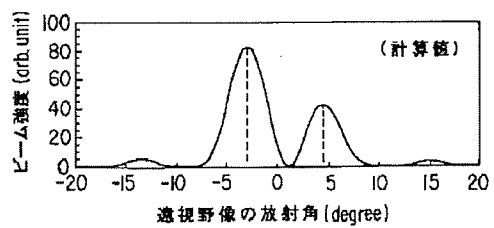
【図4】



【图6】



【図 10】



【図7】

